

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-201023
 (43)Date of publication of application : 09.08.1996

(51)Int.Cl. G01B 11/00
 G06T 7/00
 G06T 1/00

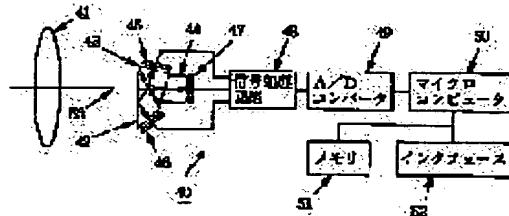
(21)Application number : 07-013877 (71)Applicant : MINOLTA CO LTD
 (22)Date of filing : 31.01.1995 (72)Inventor : YAMAKAWA EIJI

(54) THREE-DIMENSIONAL MEASURING INSTRUMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a three-dimensional measuring instrument which is inexpensively and accurately capable of measurement.

CONSTITUTION: A digital camera 40 splits incidence light 53 through an image pick-up lens 41 into three portions using prisms 42, 43, and 44 and inputs each first and second CCD sensors 45 and 46 receiving green light and a third CCD sensor 47 receiving blue and red light. The digital camera 40 is arranged while it is separated from a target by a specific base line length to pick up the image of the target. A microcomputer 50 extracts each corresponding point using image data from the first and second CCD sensors which are picked up at different positions. The reliability of the extracted corresponding points is judged by the color image from the third CCD image sensor 47.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-201023

(43)公開日 平成8年(1996)8月9日

(51) Int.Cl.
 G 01 B 11/00
 G 06 T 7/00
 1/00

識別記号 H
 庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 06 F 15/ 62 415
 15/ 64 M

審査請求 未請求 請求項の数1 OL (全17頁)

(21)出願番号 特願平7-13877

(22)出願日 平成7年(1995)1月31日

(71)出願人 000006079

ミノルタ株式会社

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号
大阪国際ビル

(72)発明者 山川 英二

大阪市中央区安土町二丁目3番13号大阪国
際ビル ミノルタ株式会社内

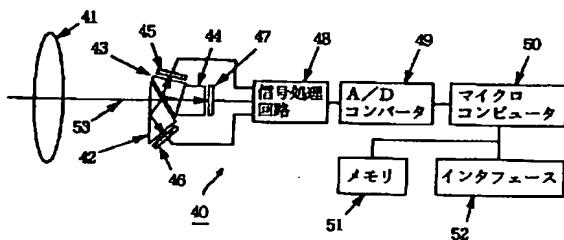
(74)代理人 弁理士 深見 久郎 (外2名)

(54)【発明の名称】 三次元計測装置

(57)【要約】

【目的】 安価でかつ高精度の計測が可能な三次元計測装置を提供する。

【構成】 デジタルカメラ40は撮影レンズ41を通過した入射光53をプリズム42、43、44で3つに分割しそれぞれを緑色の光を受光する第1および第2CCDセンサ45、46と青色および赤色の光を受光する第3CCDセンサ47に入力する。このデジタルカメラ40が図示のない対象物に対して所定の基線長だけ離して配置され、対象物を撮影する。異なる位置で撮影された第1および第2のCCDセンサからの画像データを用いてマイクロコンピュータ50はそれぞれ対応する対応点を抽出する。抽出された対応点の信頼性が第3CCDイメージセンサ47からのカラー画像を用いて判断される。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 対象物をデジタルカメラを用いて異なる位置から撮影して前記対象物の複数の画像を作成し、前記複数の画像上でそれぞれ対応する対応点の位置関係を用いて前記対象物の三次元形状を計測する三次元計測装置であって、前記デジタルカメラは第1イメージセンサと、前記第1イメージセンサとは異なる第2イメージセンサとを含み、異なる位置で撮影された前記第1イメージセンサの複数の画像上でそれぞれ対応する対応点を抽出する抽出手段と、前記第2イメージセンサで得られた画像データを用いて前記抽出手段で抽出された対応点の信頼性を判断する判断手段とを含む、三次元計測装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、対象物のデジタルカメラを用いて異なる位置から撮影して対象物の複数の画像を作成し、これら複数の画像上でそれぞれ対応する対応点の位置関係を用いて対象物の三次元形状を計測する三次元計測装置に関する。

【0002】

【従来の技術】CCDカメラを用いた三次元計測装置の一例としての写真測量装置が従来から提供されている。図23は従来の写真測量装置の全体構成を示すブロック図である。図23を参照して、従来の単板式カラーカメラ200は、撮影レンズ201と、CCDセンサ203およびCCDセンサ203に隣接して設けられた色分解フィルタ202とを含む。色分解フィルタ202は、特定の色の光のみが特定の画素に到達するように位置合わせて配置されている。カラーカメラ200にはさらに、信号処理回路204と、A/Dコンバータ205と、マイコン206と、撮影した画像を記録するためのメモリ207とを含む。

【0003】図24はCCDセンサ203の受光面の部分拡大図である。図24を参照して、R、G、Bはそれぞれ赤色光、緑色光、青色光を受光する画素である。

【0004】図25は写真測量装置の他の例としてのモノクロカメラ210のブロック図である。図25を参照して、モノクロカメラ210は撮影レンズ211と、CCDセンサ213と、信号処理回路214と、A/Dコンバータ215と、マイコン216と、撮影した画像を記録するためのメモリ217とを含む。

【0005】図26はCCDセンサ213の受光面の部分拡大図である。図26を参照して、図中B/Wは1つの画素である。図23のカラーカメラ200では同じ色の画素は3画素ごとに並んでいるのに対し、図25のモノクロカメラ210ではすべての画素が同じ分光特性を持っている。したがって、同じ画素数のCCDを用いた

2

場合でも、画像の分解能は図25のモノクロカメラ210のほうは図23のカラーカメラ200の約3倍になる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、写真測量の原理では、異なる位置で撮影された同一の対象物の複数の画像上で、それぞれ対応する対応点の位置関係を解析することが基本になっている。この対応点の解析精度を上げるために、コンピュータを用いた写真解析装置が用いられる。

【0007】このような写真解析装置では、片方の画像の与えられた点を中心とするある大きさのエリアの画像と、相関の最も高い画像エリアを他方の上で探し出し、そのエリアの中心を対応点の位置としている。しかしながら、対象物によっては本当の対応点以外のところで相関が最も高くなってしまうことがあり、対応点の誤検出が起り、高精度の計測が困難な場合があった。

【0008】この発明は上記のような問題点を解消するためになされたもので、安価でかつ高精度の計測が可能な三次元計測装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】この発明に係る、対象物をデジタルカメラを用いて異なる位置から撮影して対象物の複数の画像を作成し、その複数の画像上でそれぞれ対応する対応点の位置関係を用いて対象物の三次元形状を計測する三次元計測装置は、デジタルカメラが第1イメージセンサと、第1イメージセンサとは異なる第2イメージセンサとを含む。三次元計測装置はさらに、異なる位置で撮影された第1イメージセンサの複数の画像上でそれぞれ対応する対応点を抽出する手段と、第2イメージセンサで得られた画像データを用いて抽出手段で抽出された対応点の信頼性を判断する判断手段とを含む。

【0010】

【作用】この発明に係る三次元計測装置においては、異なる位置で撮影された第1イメージセンサの複数の画像上でそれぞれ対応する対応点を抽出し、その抽出された対応点の信頼性を第2イメージセンサで得られた画像データを用いて判断する。

【0011】

【実施例】以下この発明の実施例を図面を参照して説明する。

【0012】まず三次元計測装置において利用する写真測量の原理について説明する。図1は計測対象物とカメラの位置関係を示す図である。図1を参照して、対象物30をその左画像を撮影するための左カメラ31aと、右画像を撮影するための右カメラ31bとで撮影する。図1では2台のカメラで撮影するように図示されているが、1台のカメラを用いて31aに示す位置で左画像を撮影し、31bで示す位置へ移動して右画像を撮影して

もよい。左カメラ31a、右カメラ31bの結像面に結んだ対象物30の像を図32a、図32bに示す。

【0013】図中、対象物30と像の位置が分かりやすいように、結像面の像をレンズの物体側主点を投影中心として対象物側に投影してある。投影されている面はそれぞれカメラ31a、31bの結像面に平行で、物体側主点からレンズの焦点距離だけ対象物側に離れた位置にある。座標軸X、Y、Zはモデル座標軸と呼ばれ、左カメラ31aの物体側主点を原点とし、X軸は右カメラ31bの物体側主点を通り、Z軸は左カメラ31aの光軸にとっている。 κ_1 、 ϕ_1 、 κ_2 、 ϕ_2 、 ω_2 はそれぞれカメラの回転角である。画像上の点P01～P05およびP11～P15は、P01とP11、P02とP12、P03とP13、P04とP14、P05とP15がそれぞれ画像上対応する。ここで左右カメラ31a、31bの投影中心から各点P01～P05、P11～P15へ直線を引きカメラの回転角 κ_1 、 ϕ_1 、 κ_2 、 ϕ_2 、 ω_2 を適当に選ぶと、対応する直線の組がすべて交わるようにでき、撮影時のカメラと対象物の位置関係が再現される。このような κ_1 、 ϕ_1 、 κ_2 、 ϕ_2 、 ω_2 を求める作業を相互標定と呼び、再現された対象物をモデルと呼ぶ。相互標定を行なうときカメラの基線長Bの長さは一般的に1としている。

【0014】相互標定によってモデルが完成すれば、次に新しい対応点が与えられたときその点に対する対象物上の点の座標(X、Y、Z)は公知の方法で計算できる。但し基線長を1としているため、モデルの縮尺は1/Bになっている。対象物の実際の座標を求めるためには、モデルの縮尺を知る必要がある。本発明ではそのための基準量として、カメラの基線長、対象物上の任意の部分の寸法、または対象物上の任意の点までの距離を用いている。

【0015】図2は本発明に係る三次元計測装置に用いられるデジタルカメラ40のブロック図である。図2を参照して、デジタルカメラ40は、撮影レンズ41と、撮影レンズ41を透過した光53を色分解するためのプリズム42、43、44と、緑色の光を受光する第1CCDセンサ45と、緑色の光を受光する第2CCDセンサ46と、青色および赤色の光を受光する第3CCDセンサ47と、第1～第3CCDセンサ45、46、47からの信号を受けてその処理を行なう信号処理回路48と、信号処理されたデータをA/D変換するA/Dコンバータ49と、デジタル信号を処理するマイクロコンピュータ50と、マイクロコンピュータ50に接続された、撮影した画像を記録するためのメモリ51と、メモリ51内の画像データを外部へ転送するためのインターフェース52とを含む。プリズム42とプリズム43の間およびプリズム43とプリズム44の間には空気層があり、全反射面を形成している。

【0016】信号処理回路48は各CCDセンサ45、

46、47の出力間のレベル合せおよび γ 変換等を行なう。図3に γ 変換の特性を示す。図3を参照して、横軸は γ 変換の入力となるCCD出力信号であり、縦軸は出力信号を表わす。

【0017】図4は三次元計測装置に用いられる画像解析装置60の全体構成を示す模式図である。画像解析装置60は、図2に示したインターフェース52を介してデジタルカメラ40に接続される。図4を参照して、画像解析装置60は、CRTディスプレイ61と、キーボード63と、マウス64とを含むパーソナルコンピュータシステムである。コンピュータ本体62は、内部に中央処理装置、メモリ、ディスク装置、インターフェースなどを備えている。

【0018】図5は第1CCDセンサ45の画素G1(i, j) (i = 1, 2, ..., M, j = 1, 2, ..., N) の部分拡大図であり、図6は第2CCDセンサ46の画素G2(i, j) (i = 1, 2, ..., M, j = 1, 2, ..., N) の部分拡大図であり、図7は第3CCDセンサ47の画素R(i, j) (i = 1, 2, ..., M, j = 2, 4, 6, ..., N) およびB(i, j) (i = 1, 2, ..., M, j = 1, 3, 5, ..., N) の部分拡大図である。

【0019】第1CCDセンサ45と第2CCDセンサ46は図8に示すように互いに1/2画素ずらせて位置合せしてある。これは、1/2画素ずれた画像データを合成して分解能を2倍にした画像データを得るためにある。画像解析のときには、この合成された画像をディスプレイ61に表示する。第1CCDセンサ45と第3CCDセンサ47は図9に示すように画素同士をぴったり重ねて位置合せしてある。

【0020】図10および図11は合成した画像データと元の画像データの位置関係が分かりやすいように、元の画像データの画素と合成した画像データの画素を重ねた図である。図10は第1CCDセンサ45と第3CCDセンサ47の部分拡大図を重ね、さらに合成した画像データの画素を重ねた図である。破線は第1CCDセンサ45および第3CCDセンサ47の画素を示し、実線は合成した画素を示す。図11は第2CCDセンサ46の部分拡大図に合成した画像データの画素を重ねた図である。破線は第2CCDセンサ46の画素を示し、実線は合成した画素を示す。図10および図11において画素101～108は合成された画像の画素の一部である。

【0021】次に画像の合成方法について説明する。合成した画像データのR、G、Bの画素ごとのデータをそれぞれr(k, l)、g(k, l)、b(k, l)、(k = 1, 2, ..., 2M, l = 1, 2, ..., 2N)とする。図10および図11を参照して、合成された画素101～108のGのデータはそれぞれ

$$101: g(2i, 2j) = G1(i, j)$$

102: $g(2i, 2j+1) = (G1(i, j) + G1(i, j+1) + G2(i-1, j) + G2(i, j)) / 4$
 103: $g(2i, 2j+2) = (G1(i, j+1) + G1(i, j+2) + G2(i-1, j+1) + G2(i, j)) / 4$
 104: $g(2i, 2j+3) = (G1(i, j+1) + G1(i, j+2) + G2(i-1, j+1) + G2(i, j)) / 4$
 105: $g(2i+1, 2j) = (G1(i, j) + G1(i+1, j) + G2(i, j-1) + G2(i, j+1)) / 4$
 106: $g(2i+1, 2j+1) = G2(i, j)$
 107: $g(2i+1, 2j+2) = (G1(i, j+1) + G1(i+1, j+1) + G2(i, j) + G2(i, j+1)) / 4$
 108: $g(2i+1, 2j+3) = G2(i, j+1)$

画素101～108のRのデータはそれぞれ

101: $r(2i, 2j) = (R(i, j-1) + R(i, j+1)) / 2$
 102: $r(2i, 2j+1) = (R(i, j-1) + 3R(i, j+1)) / 4$
 103: $r(2i, 2j+2) = R(i, j+1)$
 104: $r(2i, 2j+3) = (3R(i, j+1) + R(i, j+3)) / 4$
 105: $r(2i+1, 2j) = (R(i, j-1) + R(i, j+1) + R(i+1, j-1) + R(i+1, j+1)) / 4$
 106: $r(2i+1, 2j+1) = (R(i, j-1) + 3R(i, j+1) + R(i+1, j-1) + 3R(i+1, j+1)) / 8$
 107: $r(2i+1, 2j+2) = (R(i, j+1) + R(i+1, j+1)) / 2$
 108: $r(2i+1, 2j+3) = (3R(i, j+1) + R(i, j+3) + 3R(i+1, j+1) + R(i+1, j+3)) / 8$

画素101～108のBデータはそれぞれ

101: $b(2i, 2j) = B(i, j)$
 102: $b(2i, 2j+1) = (3B(i, j) + B(i, j+2)) / 4$
 103: $b(2i, 2j+2) = (B(i, j) + B(i, j+2)) / 2$
 104: $b(2i, 2j+3) = (B(i, j+3) + B(i, j+2)) / 4$
 105: $b(2i+1, 2j) = (B(i, j) + B(i+1, j)) / 2$
 106: $b(2i+1, 2j+1) = (3B(i, j) + B(i, j+2) + 3B(i+1, j) + B(i+1, j+2)) / 8$
 107: $b(2i+1, 2j+2) = (B(i, j) + B(i, j+2) + B(i+1, j) + B(i+1, j+2)) / 8$

$+2)) / 4$
 108: $b(2i+1, 2j+3) = (B(i, j) + 3B(i, j+2) + B(i+1, j) + 3B(i+1, j+2)) / 2$

図12は画像解析装置60の行なう解析プログラムのメインフローを示すフローチャートである。図12を参照して、まずコマンド入力を待ち(#1)、コマンドの判別をし適当な処理へプログラムを分岐する(#2～#9)。画像入力であれば(#2でYes)、画像データ10入を行ない(#10)、カメラ40から画像データを読み込む。相互標定コマンドであれば(#3でYes)、相互標定の計算を実行する(#11)。基準量入力コマンドであれば(#4でYes)、基準量入力をしない(#12)、相互標定計算時に長さ1としていた基線長の実際の値を求める。測定点入力コマンドであれば(#5でYes)、測定点入力をしない(#13)、左右画像の測定点を入力する。測定点選択コマンドであれば(#6でYes)、測定点選択を行ない(#14)、相互標定、基準量入力、基準面入力、寸法測定、高さ測定20に用いる測定点を、既に入力されている測定点の中から選択す。基準面入力コマンドであれば(#7でYes)、基準面入力を行なう(#15)。寸法測定コマンドであれば(#8でYes)、寸法測定を行ない(#16)、2点間の距離を計算する。高さ測定コマンドであれば(#9でYes)、ある点から指定された基準面までの距離を計算する高さ測定を行なう(#17)。

【0022】次に左右画像上の対応点決定のための相関計算について説明する。この発明に係る三次元計測装置においては、左右画像上の対応点の位置関係を元にして30三次元計測座標を計算する。

【0023】作業者はディスプレイ61上に表示された左右画像を見ながら、どちらかの画像上に対応点の片方をマウスを用いて入力する。以下、入力されたほうの画像をレファレンス画像、入力された点をレファレンス点と呼び、入力されたのとは異なるほうの画像をサンプル画像、サンプル画像上の対応点をサンプル点と呼ぶ。

【0024】本実施例では入力されたレファレンス点に対応するサンプル点を自動的に検出するようしている。そのためにレファレンス点を含む $m \times n$ (m, n は整数)画素の領域の画素データとサンプル画像上の $m \times n$ 画素の領域の画素データとの相関を計算して、左右画像の最も類似点の多い部分を見つけ出すことによって対応点を決定している。以下、具体的に説明する。

【0025】計算に用いられるレファレンス画像の画素を $p_r(i, j)$ 、サンプル画像の画素を $p_s(i, j)$ ($i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N$)とし、対応点の探索範囲を水平方向 $\pm X_S$ 、縦方向を $\pm Y_S$ とする。画素の大きさを水平 C_x 、垂直 C_y とする。レファレンス画像の x, y 座標上に与えられたレファレンス座標を (x_r, y_r) とし、レファレンス点に最も近

7
い画素を $p_r (i_r, j_r)$ とし、 $p_s (i_s, j_s)$ を中心とする $m \times n$ 画素の領域をレファレンスブロックとする。サンプル画像の x y 座標上に $x_s = x_r, y_s = y_r$ とする仮のサンプル点 (x_s, y_s) を取り、この点に最も近い画素を $p_s (i_s, j_s)$ とし、 $p_s (i_s, j_s)$ を中心とする $m \times n$ 画素の領域をサン*

$$H(k, l) = \sum_{j=-YS}^{YS} \sum_{i=-XS}^{XS} |P(i_0 + k + i, j_0 + l + j) - p(i_s, j_s)|$$

($-XS \leq k \leq XS, -YS \leq l \leq YS$)

つまり、サンプル画像上にとったサンプルブロックを水平方向に $\pm XS$ 、垂直方向に $\pm YS$ の範囲で 1 画素ずつシフトしながら相関の $H(k, l)$ 評価値を計算する。レファレンスブロックとサンプルブロックの相関が最も大きくなる k, l 、つまり $H(k, l)$ が最小になる k, l を k_s, l_s とすると、レファレンス点に対応するサンプル点 (x_s, y_s) の座標は、

$$x_s = x_r + C_x \times k_s$$

$$y_s = y_r + C_y \times l_s$$

で決定できる。

【0027】本実施例ではこの計算に用いる画像データとして第 1 CCD センサ 45 の出力画像 G1、第 2 CCD センサ 46 の出力画像 G2、第 3 CCD センサ 47 の赤色の出力画像 R、および第 3 CCD センサ 47 の青色の出力画像 B の 4 個のすべてを用いる。

【0028】出力画像 G1, G2, R, B をそれぞれ独立に用いて、上で説明したように相関の評価値 $H_{e1} (k, l)$ 、 $H_{e2} (k, l)$ 、 $H_{e3} (k, l)$ 、 $H_{e4} (k, l)$ を計算する。 $H_{e1} (k, l)$ は G1 データだけを用いて計算した相関の評価値、 $H_{e2} (k, l)$ は G2 データだけを用いて計算した相関の評価値、 $H_{e3} (k, l)$ は R データだけを用いて計算した相関の評価値、 $H_{e4} (k, l)$ は B データだけを用いて計算した相関の評価値である。このうち、評価値 $H_{e1} (k, l)$ と $H_{e2} (k, l)$ からそれぞれサンプル点 $P_{e1} (x_{e1}, y_{e1})$ および $P_{e2} (x_{e2}, y_{e2})$ を求め、以下の計算式によりサンプル点 $P_s (x_s, y_s)$ を仮に決定する。

$$【0029】 x_s = (x_{e1} + x_{e2}) / 2$$

$$y_s = (y_{e1} + y_{e2}) / 2$$

しかし、対象物の形状によっては、レファレンス点近傍の画像パターンに似たパターンがサンプル画像上に多数あって、間違った位置をサンプル点と誤認している可能性がある。そのため評価値 $R_s (k, l)$ 、 $H_s (k, l)$ からサンプル点 $P_s (x_s, y_s)$ および $P_s (x_s, y_s)$ を求めサンプル点の信頼性を確認する。D_{err} を適当な値にして、 $(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2 \geq D_{err}$ または $(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2 \geq D_{err}$ のとき、つまりサンプル点 P_s

* ブルブロックとする。相関の評価値を $H(k, l)$ 、 $(k, l$ は整数で、 $-XS \leq k \leq XS, -YS \leq l \leq YS$) とし、次の計算により評価値を求める。

【0026】

【数 1】

(x_s, y_s) からサンプル点 $P_s (x_s, y_s)$ または $P_s (x_s, y_s)$ までの距離がある程度以上大きいとき、そのサンプル点 $P_s (x_s, y_s)$ は正しいサンプル点の位置を示していないと判断する。

【0030】上で説明したように、本実施例では相関の評価値は画像データの差を用いて計算している。しかし、左右の 2 枚の画像を撮影する間に照明条件が変化したり、カメラの露出誤差などでレファレンス画像とサンプル画像との間に露出レベルの差が発生する可能性がある。したがって、本実施例では、カメラ 40 の内で行なわれる γ 変換の逆関数を用いて画像データ G1, G2, R, B の画素データを CCD の画素の受光量に比例する量に変換し、さらに対数変換を施している。したがって、レファレンス画像とサンプル画像の間に露出の差があっても画素データの差を用いて相関の評価値を計算することができる。

【0031】以下、計測の流れにしたがって各プログラムを説明する。

30 (1) 撮影

まず図 1 に示すように対象物 30 の画像を左右から撮影する。このとき、モデルの縮尺を求める段階で必要になる基準量を測定しておく。測定方法としては次の 3 つあるが、どれか 1 つだけ測定しておけばよい。

【0032】(i) 左右カメラ 31a, 31b 間の基線長を測定する。

(ii) 対象物 30 上の任意の 2 点間の間隔 (以下基準長と呼ぶ) を測定する。たとえば、 P_1 と P_2 の間隔である。

【0033】(iii) 左カメラ 31a または右カメラ 31b から対象物上の任意の点までの距離 (以下、基準距離と呼ぶ) を測定する。たとえば、左カメラ 31a から対象物上の点 P_3 までの距離を測定する。

【0034】(2) 画像データの入力

画像解析装置 60 の外部インターフェース (不図示) をデジタルカメラ 40 のインターフェース 52 に接続する。画像解析装置 60 の計測プログラムを起動して、画像入力コマンドを入力すると、図 12 を参照して、プログラムは #2 から画像データ入力ルーチン (#10) へ分岐する。以下このルーチンについて説明する。

【0035】図13は画像データ入力のルーチンを示すフローチャートである。左画像の画像データG1, G2, R, Bをカメラ40から画像解析装置60へ入力する(#30)。入力された画像データに対し既に説明したような処理を加えて表示用画像データを合成し(#31)、ディスプレイ61に左画像を表示する(#32)。上記と同様に右画像データG1, G2, R, Bの入力、表示用画像データの合成、ディスプレイ61の表示を行なう(#33～#35)。次に既に説明したように左右画像のG1, G2, R, Bデータに対して逆々変換および対数変換が行なわれ(#35)、ディスプレイに表示される(#36)。次いでプログラムは図12の#1へ戻り、コマンド入力待ちとなる。

【0036】(3) 測定点の入力

相互標定のためのバスポイントとして用いる測定点の入力を行なう。測定点入力コマンドを入力すると、図12に示したプログラムは#5から#13へ分岐し、測定点の入力ルーチンに入る。このルーチンについて図14を参照して説明する。

【0037】図14を参照して、測定点入力ルーチンにおいては、まずマウスのクリック待ちとなる(#41)。そこで対象物30上のバスポイントにしたい点をマウスを用いて入力する。点の入力は左右どちらの画像でもよい。すると既に説明したように、入力した点をレンズ点としてサンプル点探索の計算が行なわれ、左右画像の対応点を決定し(#42)、ディスプレイ61に表示する(#43)。相互標定が既に実行されているかどうかをチェックし(#44)、実行されていれば(#44でYes)、今入力した測定点のモデル座標を計算する(#45)。まだ相互標定が実行されていなければ(#44でNo)、何もせずにメインルーチンへ戻って図12の#1でコマンド待ちとなる。このような測定点の入力を繰り返し、少なくとも5個以上の測定点を入力する。測定点はバスポイントとして少なくとも5点入力する必要がある。このとき、バスポイントのための測定点だけではなくて、三次元計測を行ないたい点もまとめて入力しておいても差し支えない。

【0038】(4) 相互標定

相互標定の前に、まずバスポイントとして用いる測定点を5点以上選択する。ポイント選択コマンドを入力すると、プログラムは図12の#6から#14へ分岐する。次に測定点選択ルーチンについて図15を参照して説明する。

【0039】図15を参照して、測定点選択ルーチンに入るとまずマウスのクリック待ちになる(#51)。そこで画像上の測定点の近傍でマウスをクリックする。クリックされた点に最も近い測定点を探し、そこまでの距離を計算する(#52)。計算された距離がある程度の値より大きいかどうかを判断する(#53)。ある程度の値より小さければ(#53でYes)、測定点が選択

されたものとみなし、その測定点を選択状態にして図12に示したメインルーチンに戻り、#1でコマンド待ちとなる。

【0040】同様に、選択の操作を繰り返し、バスポイントにしたい測定点をすべて選択状態にする。ここで相互標定コマンドを入力するとプログラムは#3から#11へ分岐し、相互標定を行なう。図16は相互標定のサブルーチンを示すフローチャートである。図16を参照して、相互標定ルーチンにおいては、まず選択状態になっている測定点が5個以上あるかどうかをチェックする(#61)。4個以下の場合は(#61でNo)、エラー表示をした後(#65)、メインルーチンへ戻る。5個以上ある場合は(#61でYes)、公知の方法で相互標定計算を行ない(#62)、外部標定要素 κ_1 、 ϕ_1 、 κ_2 、 ϕ_2 、 ω_2 を求めた後、既に入力されている測定点のモデル座標を計算する(#63)。次いで選択されていた測定点の選択状態を解除し(#64)、メインルーチンへ戻り、#1でコマンド待ちになる。

【0041】(5) 基準量の入力

20 次にモデルの縮尺を求めるための基準量を入力する。方法は既に説明したように2台のカメラの基線長を用いる方法、対象物上の任意の部分の寸法(基準長)を用いる方法、および対象物までの距離(基準距離)を用いる方法がある。図12においてまず基準量入力コマンドを入力するとプログラムは#4から#12へ分岐し、基準量入力ルーチンに入る。

【0042】図17は基準量入力ルーチンの内容を示すフローチャートである。図17を参照して、基準長入力ルーチンにおいては、まず基準量の種類の入力待ちとなる(#71)。ここで基準量として基線長を選び、撮影時に測定しておいた基線長B₀を入力すると(#72でYes)、モデルの基線長BはB₀／Bの値に更新された後(#75)、既に入力済の測定点のモデル座標を、更新されたBを用いて計算し直す(#76)。

【0043】基準量として対象物の任意の部分の寸法(基準長)を用いる場合には、予めその部分の両端の点を測定点として入力しておき、基準量入力コマンドを入力する前にその点を選択状態にしておかなければならぬ。その状態で基準量入力コマンドを入力し、#71で基準量の種類の入力待ちのときに基準量として基準長を選び、撮影時に測定しておいた基準長L₀を入力する(#73でYes)。このときは選択状態の測定点の数をチェックし2個でなければ(#77でNo)、エラー表示をしてメインルーチンへ戻る(#82)。

【0044】選択状態の測定点の数が2個であれば(#77でYes)、選択状態の点間の距離L_sが計算され(#78)、モデルの基線長Bは、B₀ × L_s／L_sの値に更新された後(#79)、既に入力済の測定点のモデル座標を更新されたBを用いて計算し直す(#80)。次いで測定点の選択状態を解除し(#81)、メインル

ーチンへ戻る。

【0045】基準量として対象物までの距離（基準距離）を用いる場合には、予め基準距離を測定した対象物側の点を測定点として入力しておき、基準量入力コマンドを入力する前にその点を選択状態にしておかなければならぬ。その状態で基準量入力コマンドを入力する。#71で基準量の種類の入力待ちのときに基準量として、基準距離を選び、撮影時に測定しておいた基準距離D_sを入力する（#74でYes）。この場合は、選択状態の測定点の数をチェックし（#83）、1個でなければ（#83でNo）、エラー表示をしてメインルーチンへ戻る（#88）。選択状態の測定点の数が1個であれば（#83でYes）、選択状態の点までの距離D_sが計算され（#84）、モデルの基線長BはB×D_s／D_sの値に更新され（#85）、既に入力済の測定点のモデル座標を更新されたBを用いて計算し直す（#86）。次いで測定点の選択状態を解除し（#87）、メインルーチンへ戻る。

【0046】(6) 寸法測定

寸法測定のコマンドを入力する前に、測定したい部分の両端の測定点を選択状態にする。その状態で寸法測定コマンドを入力すると、プログラムは図12の#8から#16へ分岐する。図18を参照して寸法測定サブルーチンについて説明する。

【0047】このルーチンではまず選択状態の測定点の数をチェックし（#91）、2個以外のときは（#91でNo）、エラー表示をした後（#95）、メインルーチンへ戻る。選択状態の測定点が2個の場合は（#91でYes）、その2点間の距離を計算する（#92）。選択されている2点のモデル座標をそれぞれ（X₁、Y₁、Z₁）、（X₂、Y₂、Z₂）とすると2点間の距離は次の式で計算できる。

$$【0048】 D = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2}$$

測定結果はディスプレイ61に表示され（#93）、測定点の選択状態が解除され（#94）、メインルーチンへ戻る。

【0049】(7) 基準面入力

本実施例の三次元計測装置では、ある点から基準面までの高さを計測する「高さ測定」機能を有している。たとえば樹木の樹高を計測する場合に、木の先端と根元の両方が見えていれば寸法測定機能を用いて樹高測定は可能である。しかし、手前に物があって根元が見えないような場合、高さ測定機能を用いて見ている地面を基準面として樹高を計測することができる。高さ測定に先立ち、基準面入力コマンドを用いて基準面を入力しておかなければならぬ。基準面入力を行なうには、まず基準面を定義する測定点を3点選択状態にしてから基準面入力コマンドを入力する。基準面入力のルーチンでは選択された3点を含む面を基準面としてその面の方程式をた

てる。選択された3点の座標を（X₁、Y₁、Z₁）、（X₂、Y₂、Z₂）、（X₃、Y₃、Z₃）、面の方程式をZ = aX + bY + cとすると、a、b、cは以下の式で表される。

$$【0050】 a = ((Z_2 - Z_1) \cdot (Y_2 - Y_3) - (Z_2 - Z_3) \cdot (Y_2 - Y_1)) / ((X_2 - X_1) \cdot (Y_2 - Y_1) - (X_2 - X_3) \cdot (Y_2 - Y_1))$$

$$b = ((Z_2 - Z_1) - a \cdot (X_2 - X_1)) / (Y_2 - Y_1)$$

$$10 c = Z_1 - a \cdot X_1 - b \cdot Y_1$$

図19は図12の#15で示した基準面入力ルーチンを示すフローチャートである。図19を参照して、まず選択された測定点の数をチェックする（#101）。選択された測定点が3点でなければ（#101でNo）、エラー表示をしてメインルーチンへ戻る（#104）。選択された点が3点であれば（#101でYes）、上で説明したように基準面の方程式をたてた後（#102）、選択された測定点を解除してメインルーチンへ戻る（#103）。

【0051】(8) 高さ測定

ある点（X₀、Y₀、Z₀）から平面Z = aX + bY + cへ降ろした垂線の長さHは垂線とこの平面との交点を点（X_h、Y_h、Z_h）とすると次の式で表わされる。

$$【0052】 H = \sqrt{(X_h - X_0)^2 + (Y_h - Y_0)^2 + (Z_h - Z_0)^2}$$

ただし、

$$X_h = \frac{(1 + b^2) X_0 + b (Z_0 - b \cdot Y_0 - c)}{(a^2 + b^2 + 1)}$$

$$Y_h = \frac{(1 + a^2) Y_0 + b (Z_0 - a \cdot X_0 - c)}{(a^2 + b^2 + 1)}$$

$$30 Z_h = \frac{(a^2 + b^2) Z_0 + a \cdot X_0 + b \cdot Y_0 + c}{(a^2 + b^2 + 1)}$$

図20は図12の#17で示した高さ測定サブルーチンの内容を示すフローチャートである。図20を参照して高さ測定のサブルーチンについて説明する。高さ測定コマンドを入力すると、図12に示したメインルーチンにおいて#9から#17へ分岐し、図20のサブルーチンに入る。まず基準平面が既に入力されているかどうかをチェックし（#111）、入力されていなければ（#111でNo）、エラー表示を行ないメインルーチンへ戻る（#115）。基準平面が入力されていれば（#111でYes）、選択されている点から基準面までの距離を計算し（#112）、ディスプレイに表示し（#113）、測定点の選択状態を解除しメインルーチンへ戻る（#114）。

【0053】以上、本発明の実施例を基本的な測定の流れに沿って説明した。この実施例で用いた基線長および基準距離は、撮影レンズ41の物体側主点1をカメラ側の起点と考えた。しかしながら、物体側主点1を起点にしていては、三脚に載せたカメラの角度を変えただけで

起点の位置が変化してしまい、その都度基準量を測定し直さなければならない。ここでたとえばカメラの三脚ねじの位置などを起点にすれば、カメラの角度を変化させても起点の位置は変化しないので、基準量を測定し直す必要がなくなる。この場合、測定した基準量の物体側主点位置を起点とした基準量に換算する必要がある。以下、その換算の方法を説明する。

【0054】図21はカメラの三脚ねじの位置を起点にした場合の測定した基準量を物体側主点位置を起点にした基準量に換算する方法を説明するための図である。図21を参照して、カメラボディ111は光軸113を有する撮影レンズ112と、三脚ねじ115を含む。光軸113上に物体側主点114が存在する。ここでは三脚ねじ115の位置を基線長を測定する起点にした場合について説明する。三脚ねじ115を原点として光軸113に平行にz軸を、カメラ111に水平方向にx軸を、垂直方向にy軸を図のようにとる。撮影レンズ112の物体側主点114のx y z座標上の位置を(xc, yc, zc)とすると、図1を参照して左カメラ31aの三脚ねじの位置をモデル座標の原点、右カメラ31bは三脚ねじの位置をモデル座標の(B, 0, 0)とする。左カメラ31aはその位置で三脚ねじ115を中心に、Y軸の正の方向に向かって右回りにψ1、Z軸の正の方向に向かって右回りにκ1、回転した方向を向いている。右カメラ31bはその位置で三脚ねじ115を中心に、Z軸の正の方向に向かって右回りにκ2、Y軸の正の方向に向かって右回りにψ2、X軸に正の方向に向かって右回りにω2回転した方向を向いている。したがって、モデル座標上の左カメラ31aの物体側主点の位置(X1, Y1, Z1)および右カメラ31bの物体側主点の位置(X2, Y2, Z2)は次のように表わされる。

【0055】

$$X1 = x1 \cdot \cos \phi 1 \cdot \cos \kappa 1 - y1 \cdot \cos \phi 1 \cdot \sin \kappa 1 - zc \cdot \sin \phi 1$$

$$Y1 = x1 \cdot \sin \kappa 1 + y1 \cdot \cos \kappa 1$$

$$Z1 = -x1 \cdot \sin \phi 1 \cdot \cos \kappa 1 + y1 \cdot \sin \phi 1 \cdot \sin \kappa 1 - zc \cdot \cos \phi 1$$

$$X2 = x2 \cdot \cos \phi 2 \cdot \cos \kappa 2 - y2 \cdot \cos \phi 2 \cdot \sin \kappa 2 - zc \cdot \sin \phi 2 + B$$

$$Y2 = x2 \cdot (\cos \omega 2 \cdot \sin \kappa 2 + \sin \omega 2 \cdot \sin \phi 2 \cdot \cos \kappa 2) + y2 \cdot (\cos \omega 2 \cdot \cos \kappa 2 - \sin \omega 2 \cdot \sin \phi 2 \cdot \sin \kappa 2) + zc \cdot \sin \omega 2 \cdot 2 \cos \phi 2$$

$$Z2 = x2 \cdot (\sin \omega 2 \cdot \sin \kappa 2 - \cos \omega 2 \cdot \sin \phi 2 \cdot \cos \kappa 2) + y2 \cdot (\sin \omega 2 \cdot \cos \kappa 2 + \cos \omega 2 \cdot \sin \phi 2 \cdot \cos \kappa 2) - zc \cdot \cos \omega 2 \cdot \cos \phi 2$$

実際には相互標定を行なってκ1, ϕ1, κ2, ϕ2, ω2の値が確定し、基準量として基線長Bが入力されたときに上記の計算を実行してX1, Y1, Z1, X2,

Y2, Z2を求め、次の式を用いて物体側主点を起点とした基線長Bcを計算すればよい。

$$【0056】 Bc = ((X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2 + (Z1 - Z2)^2)^{1/2}$$

本実施例では、モデルの縮尺を求めるための基準量としてカメラの基線長、カメラから対象物の上の任意の点までの距離、または対象物上の任意の部分の寸法が必要である。しかしこれらすべてが直接測定できない場合でも、間接的に基線長を測定することができる。このこと

10を図22を用いて説明する。

【0057】図22は間接的に基線長を測定する方法を説明するための図である。図22を参照して、左カメラ123と右カメラ124とを用いて対象物121を物差し122を用いて測定するものとする。物差し122は必ずしも物差しでなくてもよく、長さの分かっているものであれば何でもよい。物差し122は左カメラ123、右カメラ124のどちらからも見える位置に置かれている。この状態で左カメラで物差し122の画像および対象物121の画像をそれぞれ撮影し、右カメラで物差し122の画像および対象物121の画像をそれぞれ撮影する。つまり共通の基線長Bで対象物121および物差し122の画像を撮影する。撮影した画像のうち物差し122の撮影した画像を本実施例の三次元計測装置を用いて解析し、基準長として物差しの長さを与えてやると図17に示した基準量入力ルーチンの#79で基線長Bが計算される。この基線長Bは対象物121の左右写真的基線長として用いることができる。

【0058】なお、本実施例によれば、第1CCDセンサ45と第2CCDセンサ46が互いに1/2画素ずらせて配置されているため、カラーカメラでありながら、CCDセンサの画素数が少々少なくて分解能を高くすることができる。

【0059】

【発明の効果】以上のように、この発明に係る三次元計測装置によれば、異なる位置で撮影された第1イメージセンサの複数の画像上でそれぞれ対応する対応点を抽出し、その抽出された対応点の信頼性を第2イメージセンサで得られた画像データを用いて判断するようしたため、対応点が簡単な構成でかつ誤りなく検出できる。その結果、安価でかつ高精度の計測が可能な三次元計測装置が提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る三次元計測装置の計測の原理を説明するための模式図である。

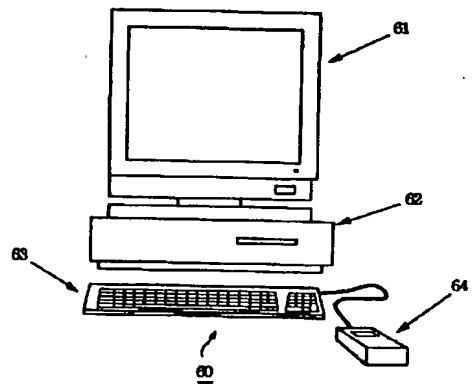
【図2】この発明に係る三次元計測装置に用いられるカメラの構成を示すブロック図である。

【図3】カメラのγ変換特性を示す図である。

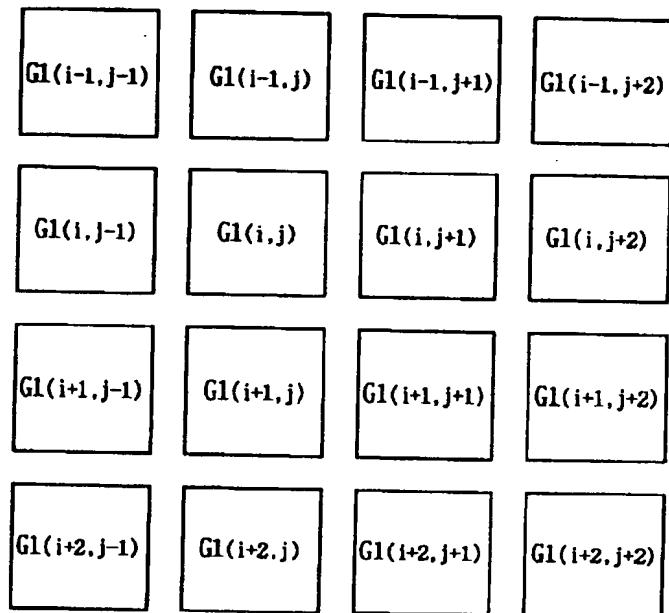
【図4】三次元計測装置に用いられるパソコンコンピュータの外観図である。

【図5】第1CCDセンサの受光面の部分拡大図であ

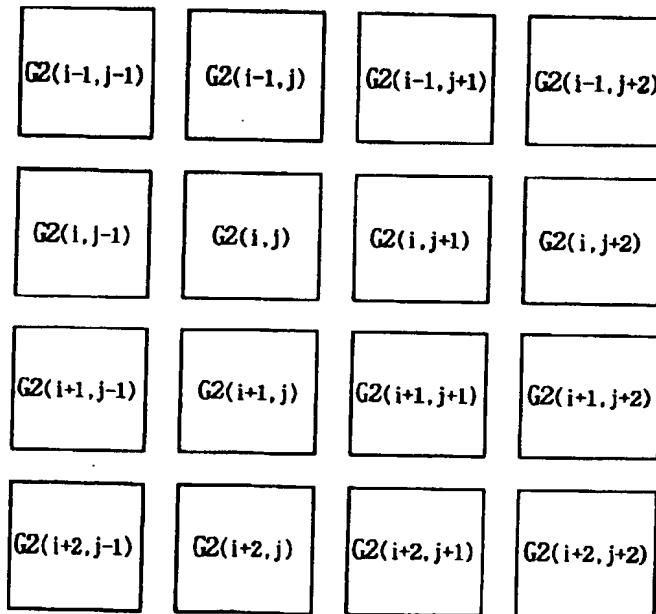
【図4】



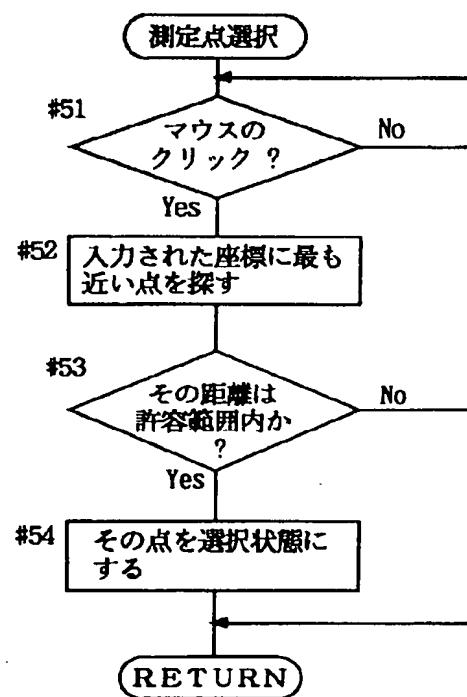
【図5】



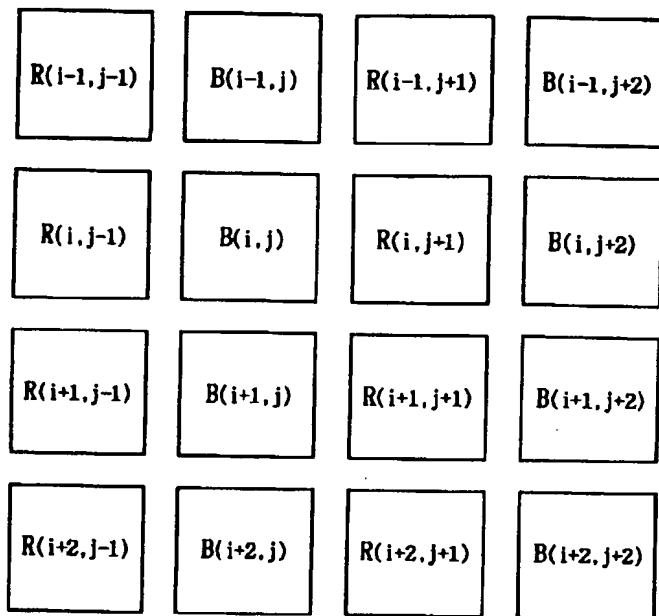
【図6】



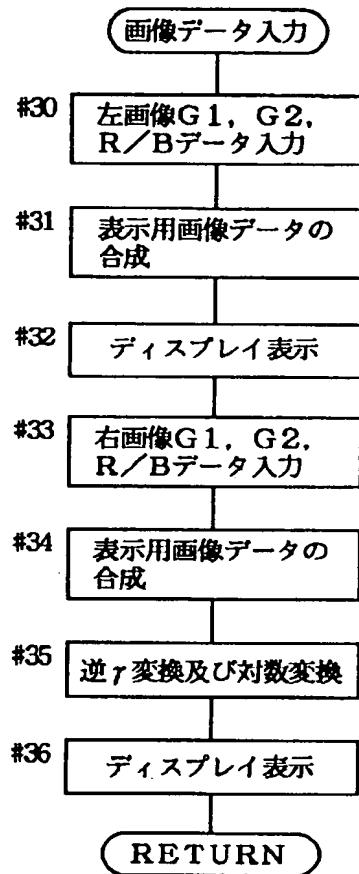
【図15】



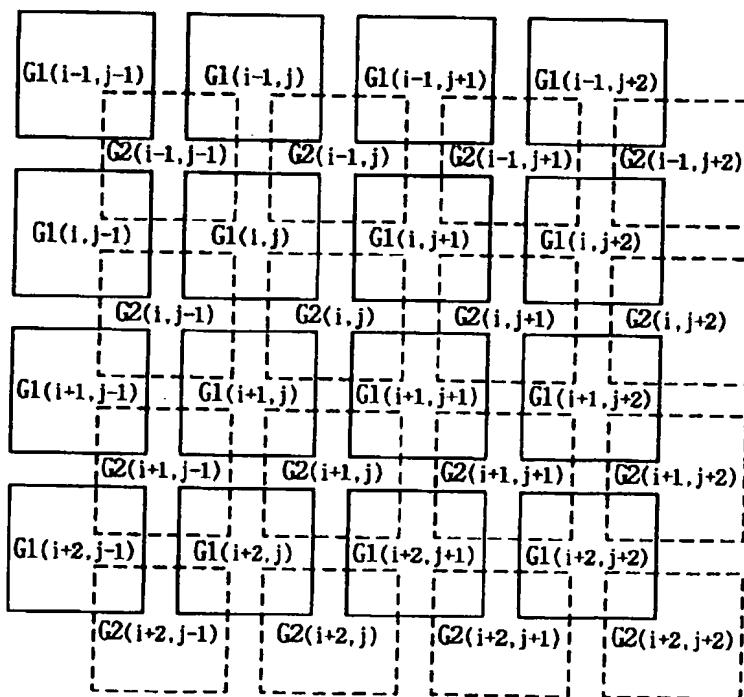
【図7】



【図13】



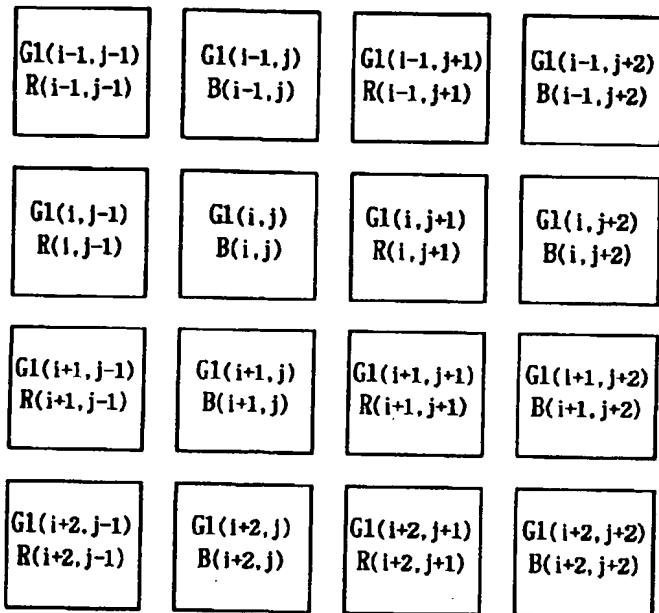
【図8】



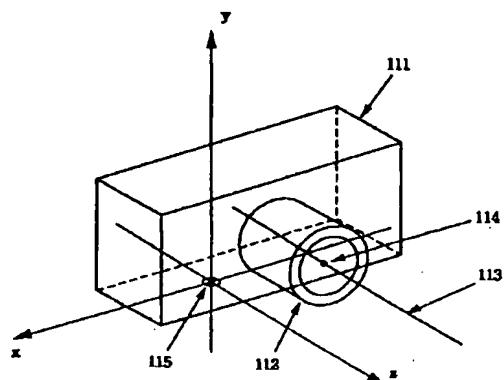
【図26】

| B/W |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| B/W |
| B/W |
| B/W |
| B/W |
| B/W |

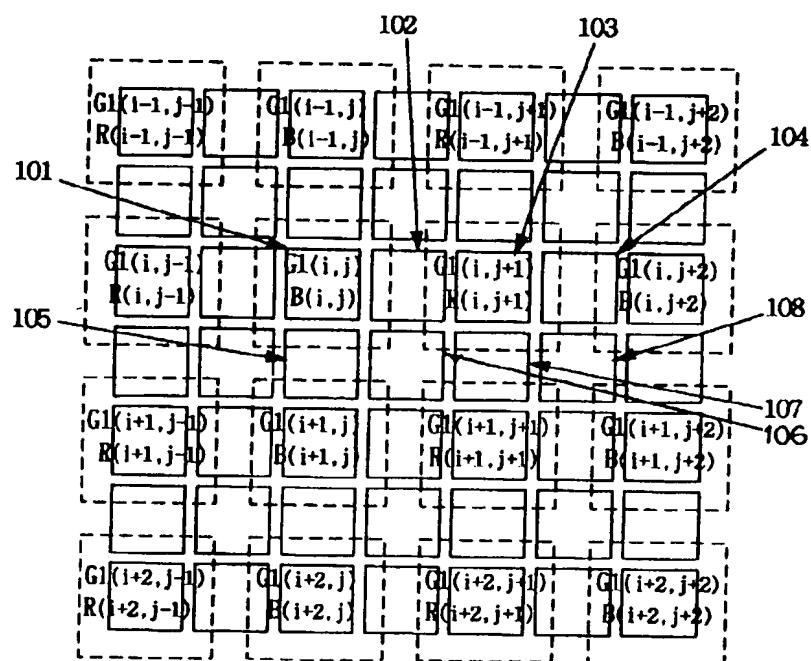
【図9】



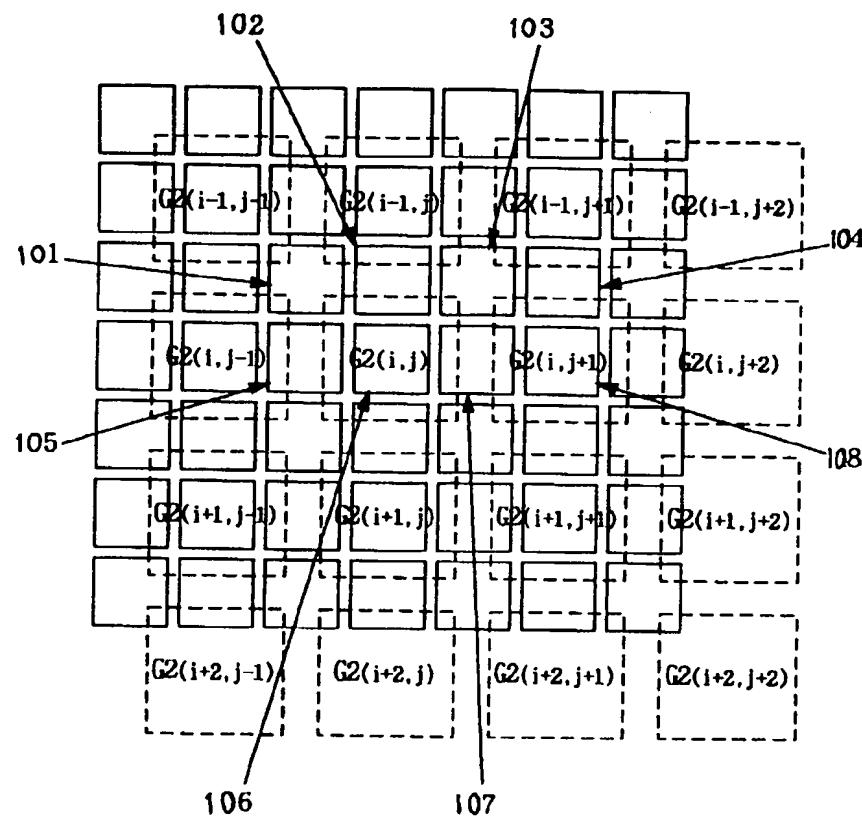
【図21】



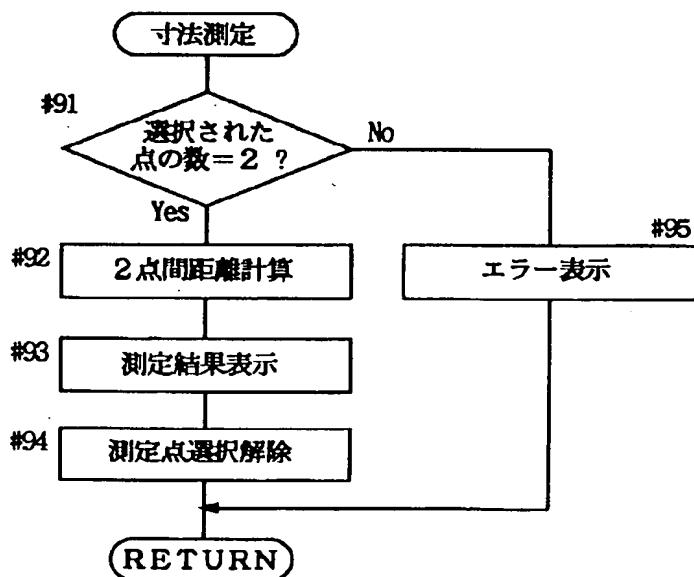
【図10】



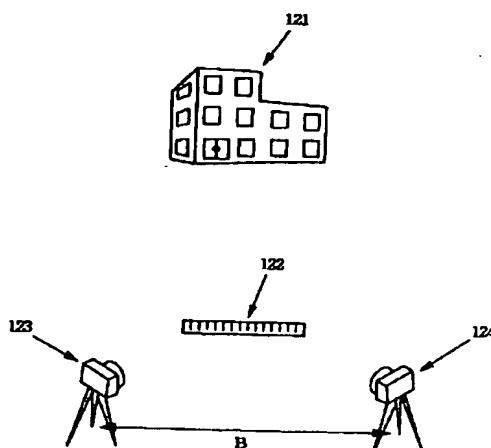
【図11】



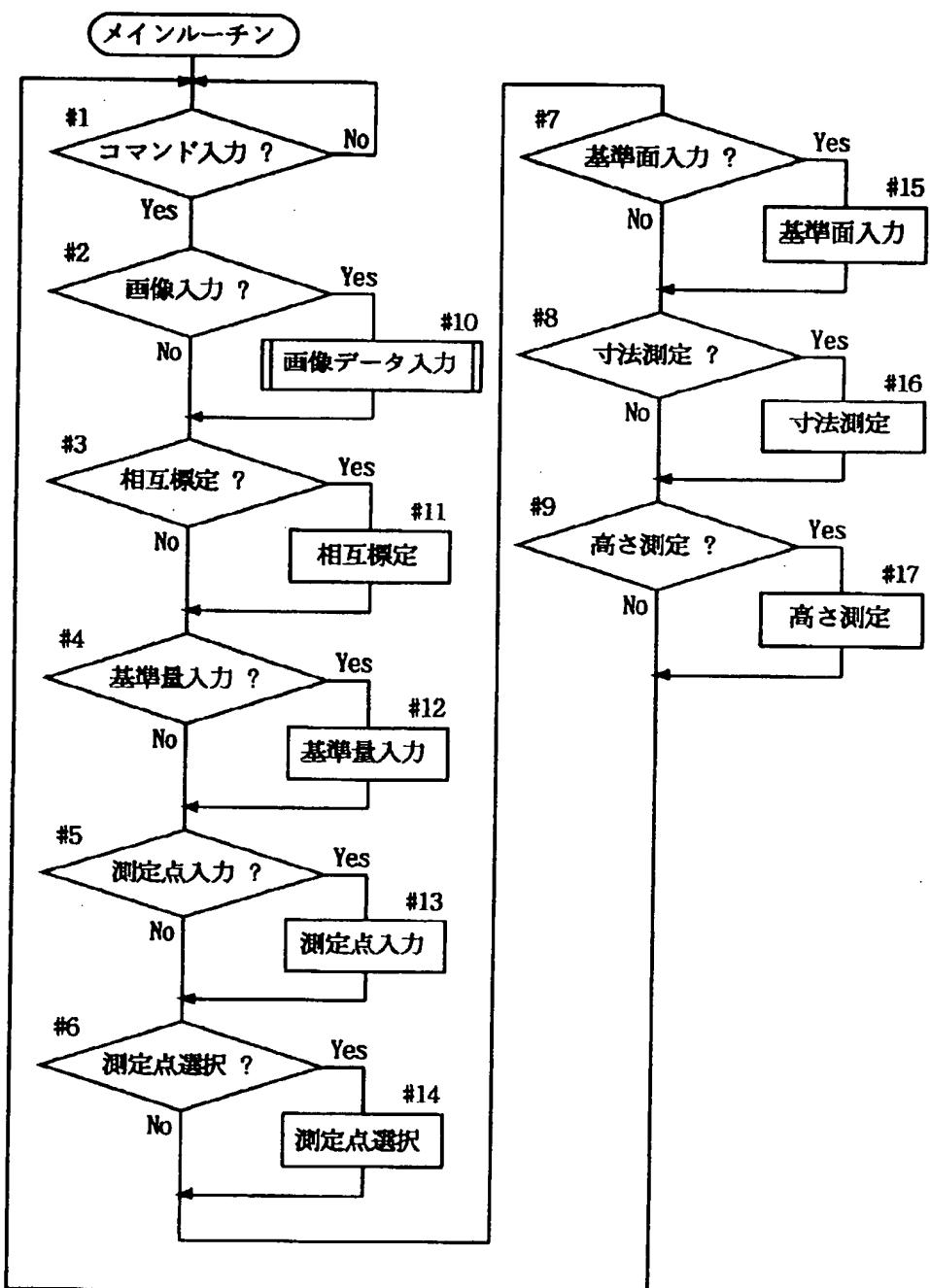
【図18】



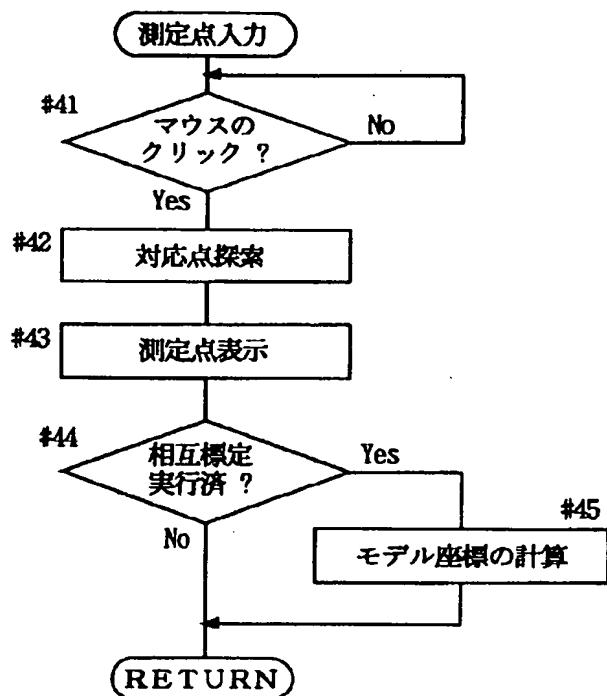
【図22】



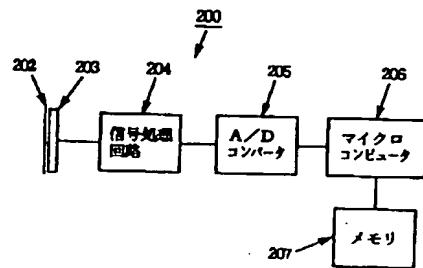
【図12】



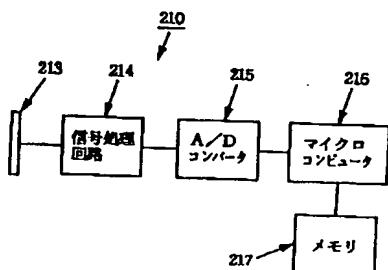
【図14】



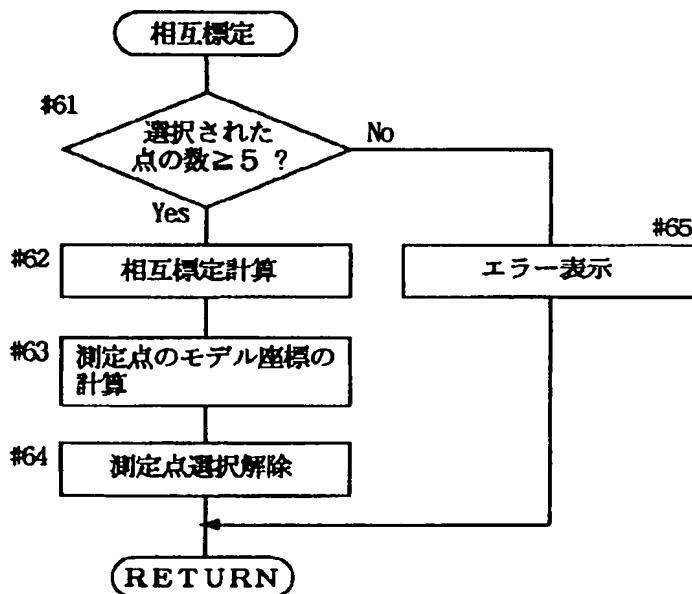
【図23】



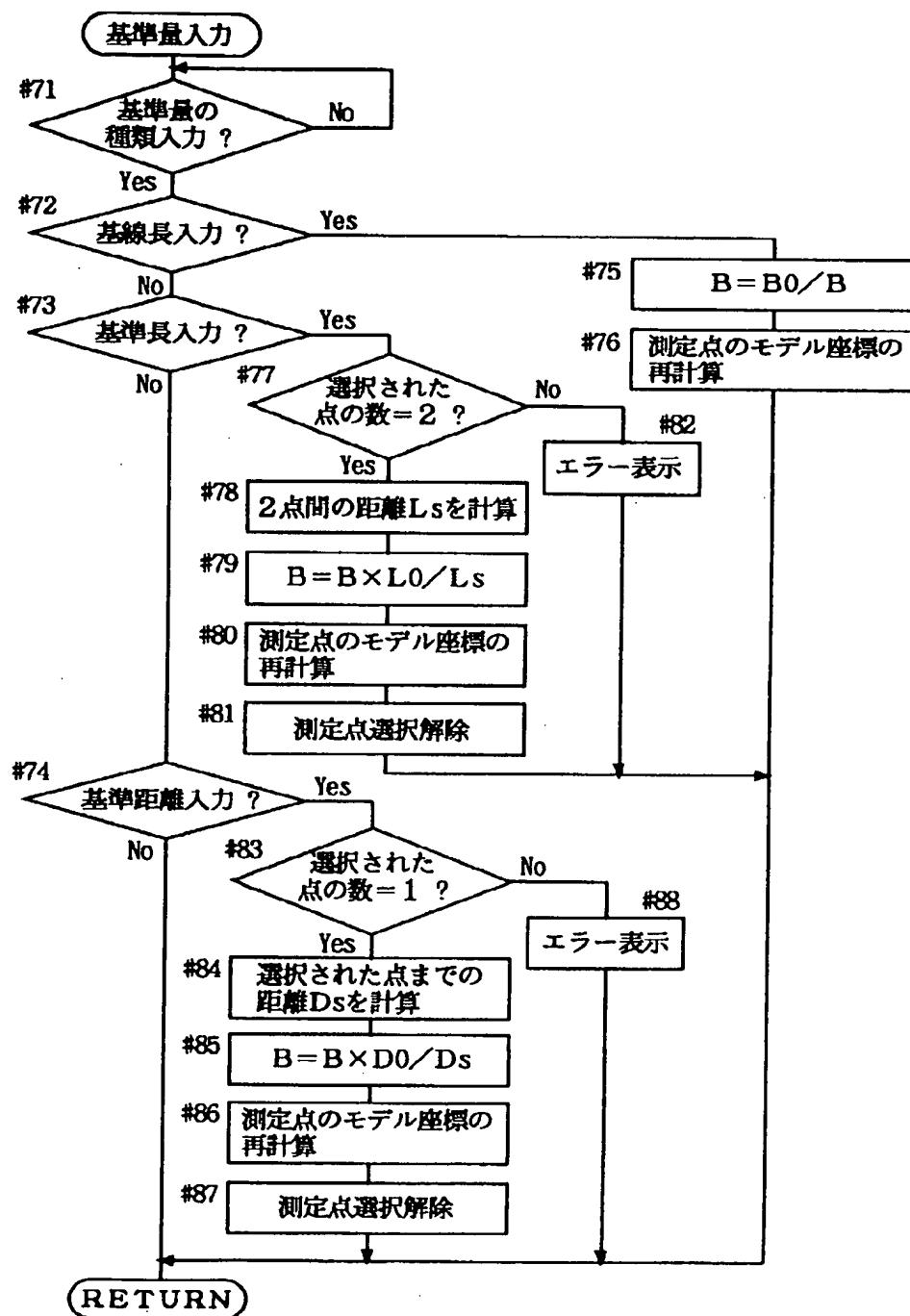
【図25】



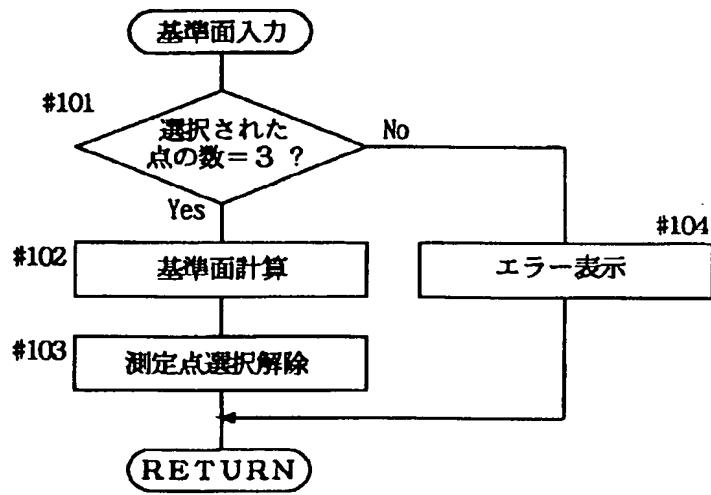
【図16】



【図17】



【図19】



【図20】

